

PENGARUH WAKTU TAHAN *POST-HEAT* DAN LAJU PENDINGINAN PROSES COPPERIZING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN *COPPERIZED-API* 5L GRADE B

Angga Septa S (2712 100 063)

Dosen Pembimbing:

Sutarsis, ST., M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, ST., MT.





PENDAHULUAN

Latar Belakang

Baja merupakan paduan antara Fe dan karbon (kadar karbon $<2\%$ C). Sifat baja banyak tergantung pada kadar karbonnya, makin tinggi kadar karbon, baja itu makin kuat dan keras, tetapi juga makin getas. (Suherman, 2001)

Oleh karena itu, dikembangkanlah proses pemaduan baja dengan unsur lain untuk memperbaiki sifat mekanik baja. Salah satunya paduan baja dengan tembaga yang dapat meningkatkan kekuatan baja melalui *solid-solution strengthener* tanpa mengurangi keuletan baja tersebut. (Skobir, 2011)

Pada penelitian ini, dilakukan pemaduan baja dengan tembaga melalui metode *copperizing*.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh waktu tahan *post-heat* dan laju pendinginan proses *copperizing* terhadap struktur mikro *copperized-API 5L grade B*?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan *post-heat* dan laju pendinginan proses *copperizing* terhadap kekerasan *copperized-API 5L grade B*?

Batasan Masalah

1. Pengaruh dari lingkungan sekitar proses *copperizing* diabaikan.
2. Temperatur ketika pengangkatan substrat dan *immersing* dianggap konstan.
3. Temperatur tembaga cair dianggap konstan.
4. Kecepatan pendinginan dianggap konstan.
5. *Crucible grafit* dianggap tidak bereaksi dengan logam cair

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh waktu tahan *post-heat* dan laju pendinginan proses *copperizing* terhadap struktur mikro *copperized-API 5L grade B*.
2. Menganalisis pengaruh waktu tahan *post-heat* dan laju pendinginan proses *copperizing* terhadap kekerasan *copperized-API 5L grade B*.



LANDASAN TEORI

Pengaruh Cu sebagai Unsur Paduan Dalam Baja

- Tembaga merupakan unsur paduan yang larut dalam *ferrite* pada baja (Avner, 1982)

ALLOYING ELEMENT	GROUP 1 DISSOLVED IN FERRITE	GROUP 2 COMBINED IN CARBIDE
Nickel	Ni	
Silicon	Si	
Aluminum	Al	
Copper	Cu	
Manganese	Mn	↔ Mn
Chromium	Cr	↔ Cr
Tungsten	W	↔ W
Molybdenum	Mo	↔ Mo
Vanadium	V	↔ V
Titanium	Ti	↔ Ti

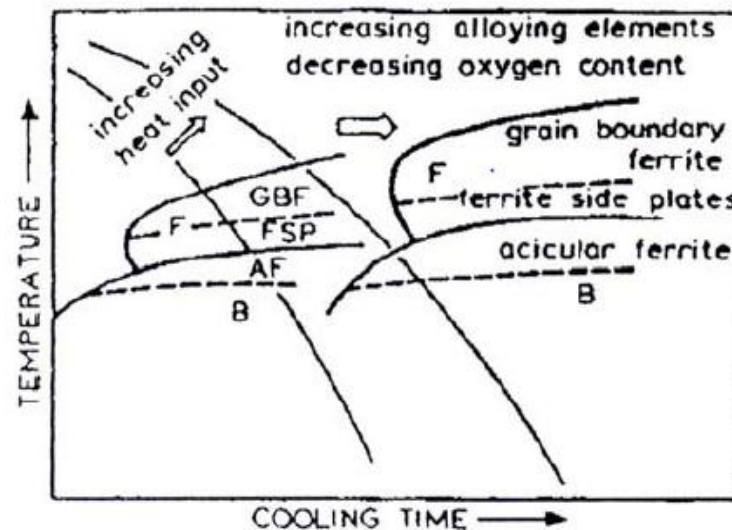
- Unsur paduan yang larut dalam ferrite meningkatkan kekuatan dan kekerasan *ferrite* (Suherman, 1999) sehingga Cu yang berdifusi ke dalam baja akan larut dalam ferrite dan menaikkan kekuatan dan kekerasannya

Pengaruh Cu sebagai Unsur Paduan Dalam Baja

- Mekanisme penguatan dan pengerasan oleh tembaga dalam baja adalah *solid-solution strengthening*. Tembaga dalam baja larut dalam *ferrite* membentuk larutan padat substitusional. (Avazkonandeh, 2009)
- Selain itu, mekanisme penguatan dan pengerasan oleh tembaga pada baja berlangsung dengan cara penghalusan butir ferrite (Ghosh, 2008) dan (Elwazri, 2007)

Pengaruh Cu sebagai Unsur Paduan Dalam Baja

- Semua unsur paduan, kecuali *cobalt*, akan menggeser kurva transformasi baja ke kanan (Suherman, 1999)



- Gambar di atas menunjukkan ilustrasi pengaruh penambahan unsur paduan pada baja terhadap kurva transformasi (CCT). (Messler, 1999)

Pengaruh Cu sebagai Unsur Paduan Dalam Baja

- Tembaga merupakan unsur paduan pen-stabil *austenite*. (Totten, 2006)

TABLE 11.8

Effect of Alloying Elements in Tool Steels

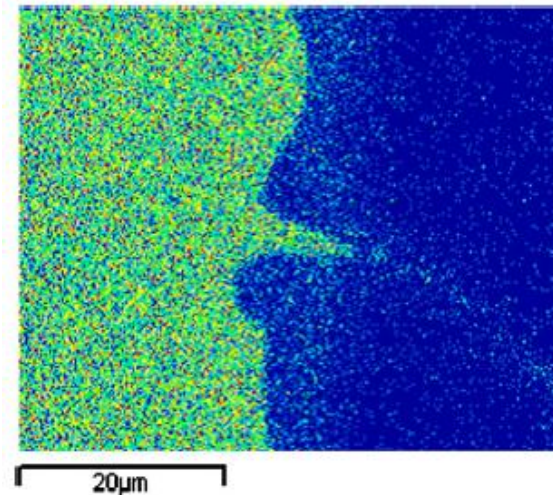
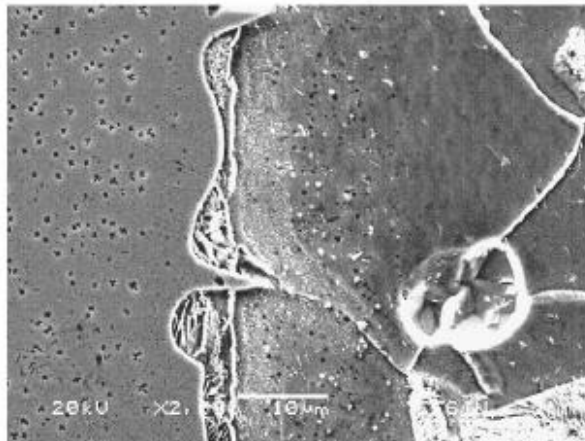
Ferrite-Stabilizing Elements	Austenite-Stabilizing Elements
Chromium	Carbon
Molybdenum	Cobalt
Niobium	Copper
Silicon	Manganese
Tantalum	Nickel
Titanium	Nitrogen
Tungsten	
Vanadium	
Zirconium	

Source: From G. Roberts, G. Krauss, and R. Kennedy, *Tool Steels*, 5th ed., ASM International, Materials Park, OH, 1998, p. 50.

- Tembaga sebagai unsur pen-stabil austenite menurunkan temperatur transformasi austenite ke ferrite. Akan tetapi, pengaruh tembaga sebagai penstabil austenite pada baja tidak sekuat unsur paduan lain, seperti Ni dan Mn. (Avazkonandeh, 2009)

Difusi Cu ke dalam Baja

- Molleda dkk (2008) menyatakan bahwa tembaga cair dapat berdifusi ke dalam baja saat proses pelapisan baja dengan tembaga menggunakan metode *furnace brazing* ($T=1100^{\circ}\text{C}$)



Pada daerah interface tembaga dan baja, tembaga berdifusi di sepanjang batas butir baja melalui pengamatan SEM dan *x-ray mapping*

Penelitian Sebelumnya

1. Ghosh, 2009

Tujuan:

Mengetahui pengaruh penambahan tembaga 1.5% Cu terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja *micro-alloyed* Ti-B

Hasil:

- a. Penurunan temperatur austenite pada baja dengan penambahan Cu.
- b. Penghalusan butir *ferrite* pada baja dengan penambahan Cu sehingga terjadi peningkatan nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* pada baja dengan penambahan Cu.

Penelitian Sebelumnya

2. Avazkonandeh, 2009

Tujuan:

Mengetahui pengaruh penambaha tembaga 0.14-0.94% Cu terhadap struktur mikro dan sifat mekanik Cr-Ni-Cu *low alloy steel weld metal deposits*.

Hasil:

Peningkatan jumlah *acicular ferrite* dan penghalusan butir *ferrite* pada baja sehingga kekerasan baja meningkat seiring dengan peningkatan kadar Cu dalam baja.



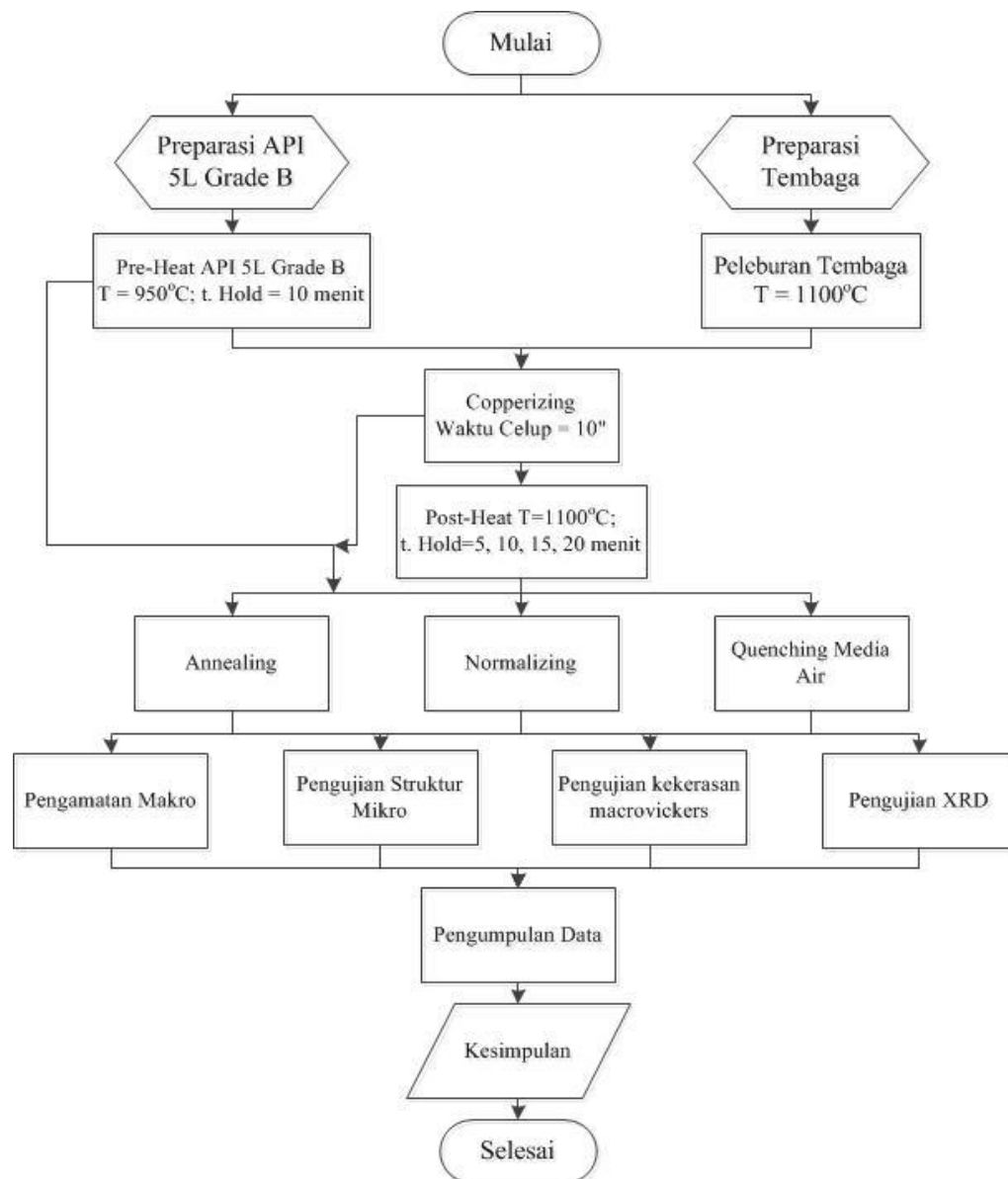
METODOLOGI

Bahan Penelitian

1. Baja API 5L Grade B (p x l x t = 7 cm x 4 cm x 0.3 cm)
2. Tembaga murni
3. Larutan etsa Nital (HNO_3 dan methanol)
4. Resin
5. Katalis
6. Metal polish Autosol
7. Kain Beludru
8. Air

Alat Penelitian

- Gerinda tangan
- Gergaji tangan
- *Crucible Grafit*
- *Muffle furnace*
- Penjepit baja
- Ember
- Pipa sok
- Kertas amplas
- Mesin Polish
- Alat uji kekerasan macrovickers
- Alat uji XRD



Preparasi Spesimen

1. Pipa Baja API 5L *Grade B* di-roll terlebih dahulu menjadi bentuk plat
2. Normalizing plat baja hasil *rolling*
3. Spesimen dipotong menjadi ukuran 7 x 4 x 0.3 cm
4. Permukaan spesimen dibersihkan dengan cara mekanik. (Gerinda tangan yang diikuti dengan pembersihan menggunakan kikir)

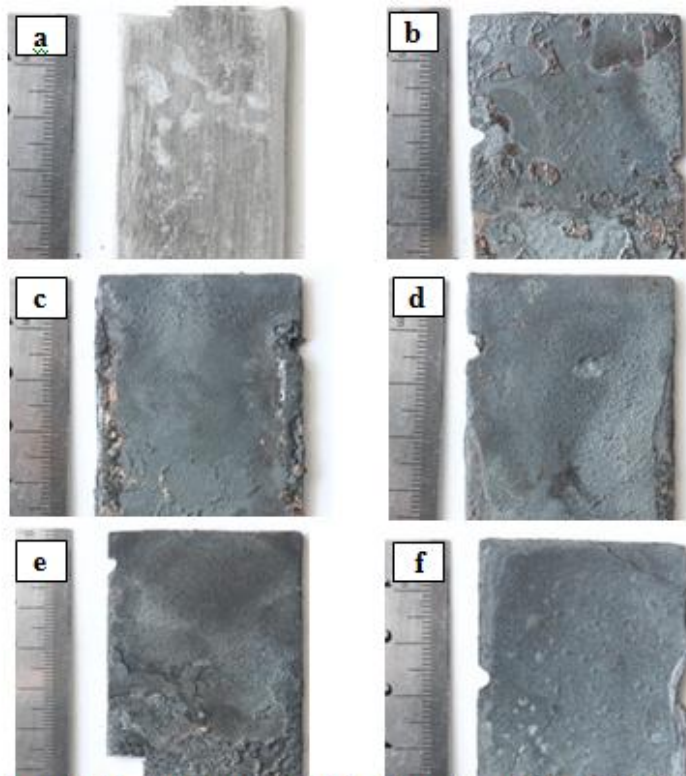
Pengujian

- Pengamatan Makro: -Permukaan
- Penampang Melintang
- Pengujian Struktur Mikro
- Pengujian XRD
- Pengujian *Macrohardness* Vickers dengan beban 30 kgf di tiga titik pada bagian tepi penampang melintang.

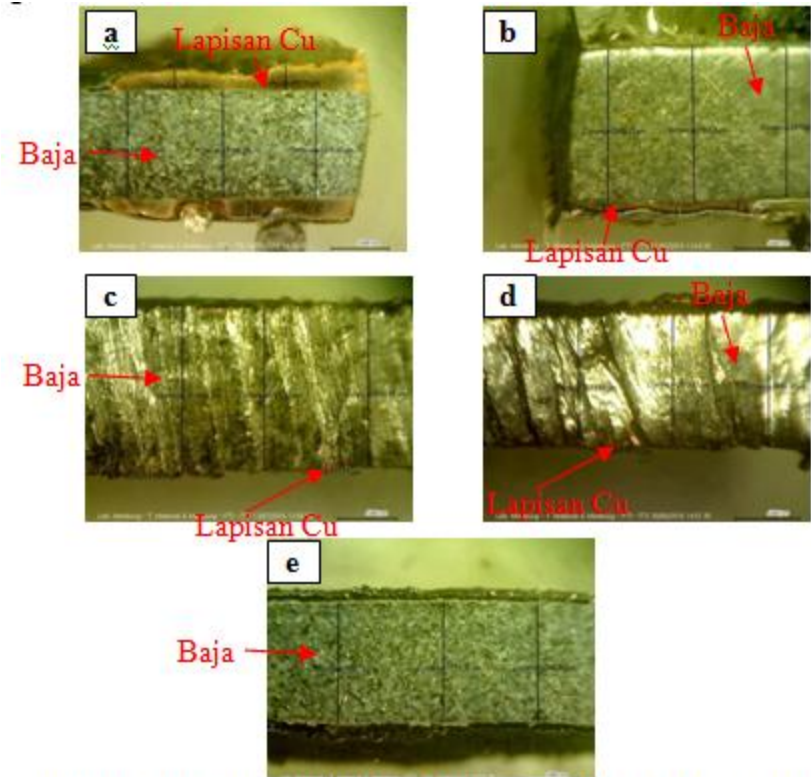


ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Makro

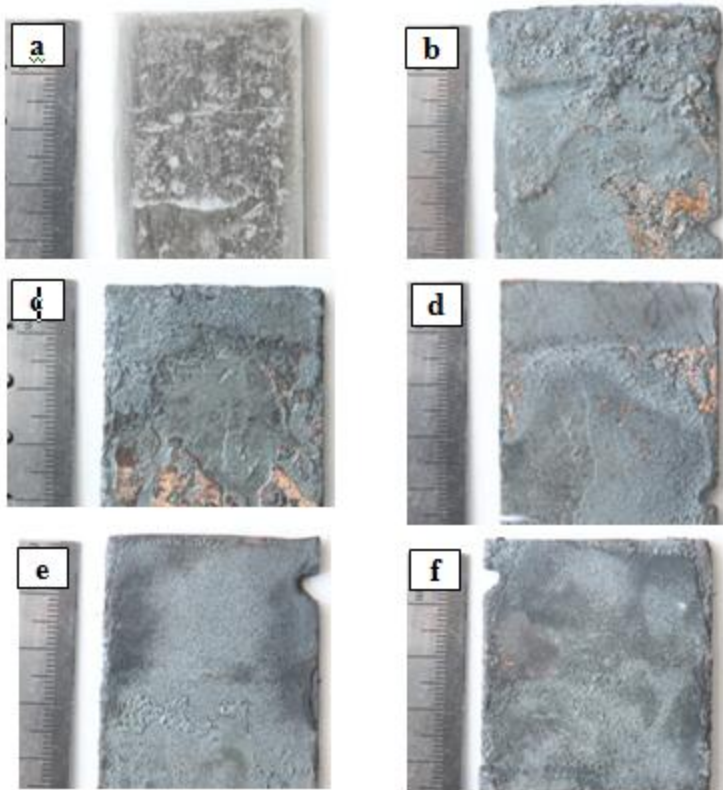


Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Makro Permukaan Baja API 5L grade B pendinginan *annealing*: (a) substrat API 5L (b) *Copperizing* 10 menit (c) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 5 menit (d) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 10 menit (e) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 15 menit (f) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 20 menit.

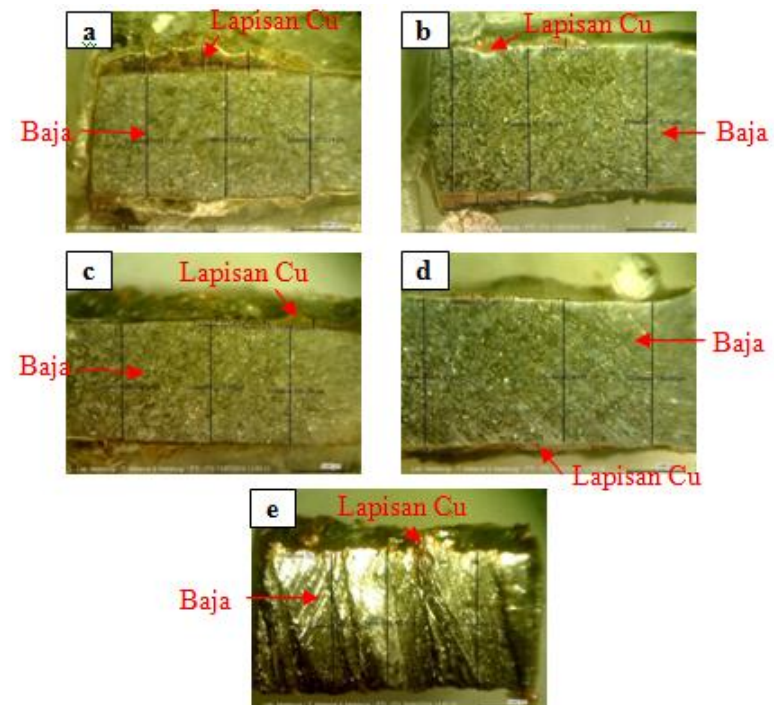


Gambar 4.4 Hasil Pengamatan Makro Penampang Melintang Baja API 5L grade B pendinginan *annealing* dengan perbesaran 16x: (a) *Copperizing* 10 menit (b) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 5 menit (c) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 10 menit (d) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 15 menit (e) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 20 menit.

Pengamatan Makro

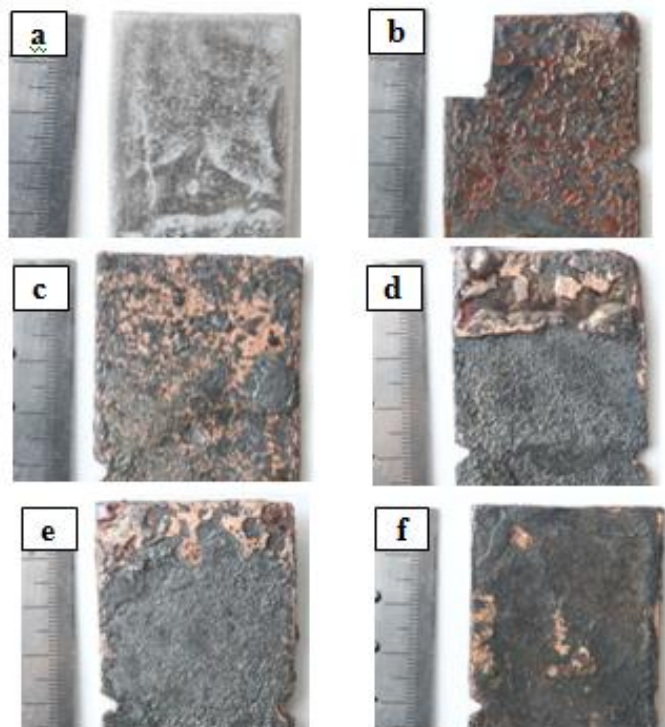


Gambar 4.2 Hasil Pengamatan Makro Permukaan Baja API 5L grade B pendinginan *normalizing* (a) Substrat API 5L (b) *Copperizing* 10 menit (c) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 5 menit (d) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 10 menit (e) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 15 menit (f) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 20 menit.

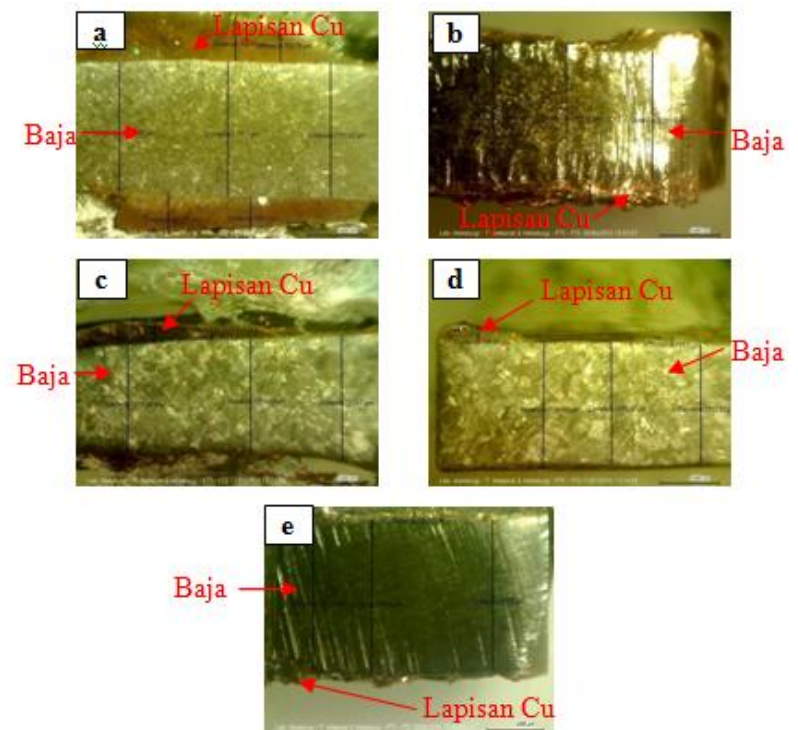


Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Makro Penampang Melintang Baja API 5L grade B pendinginan *normalizing* dengan perbesaran 16x: (a) *Copperizing* 10 menit (b) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 5 menit (c) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 10 menit (d) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 15 menit (e) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 20 menit.

Pengamatan Makro

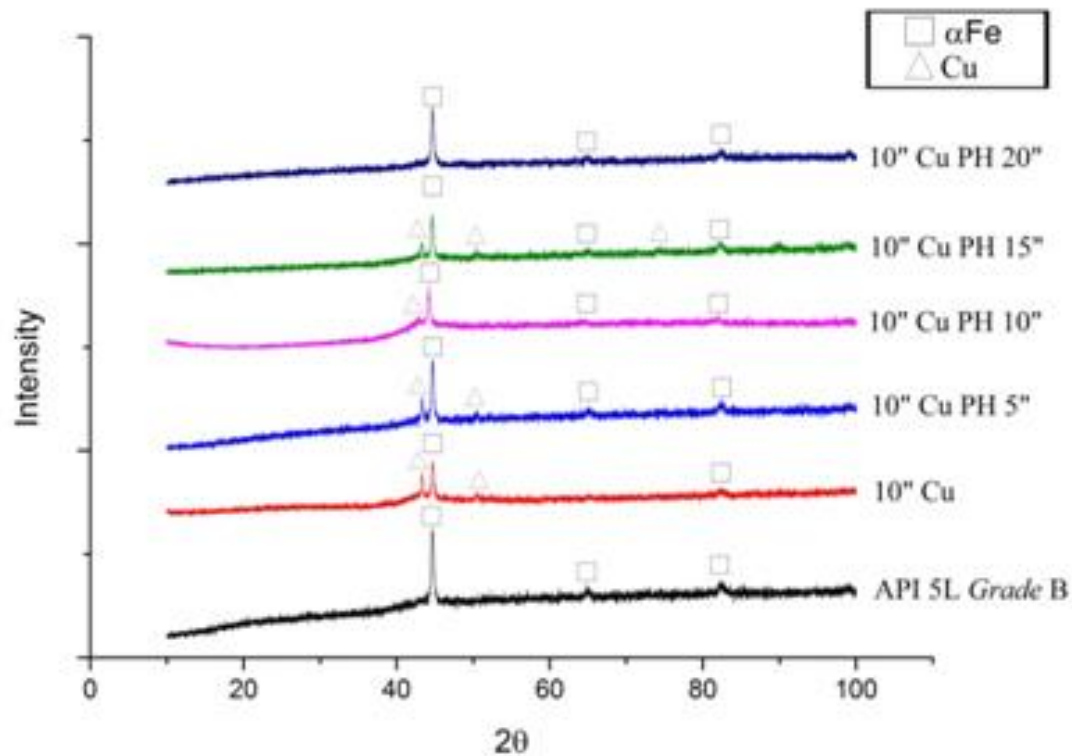


Gambar 4.3 Hasil Pengamatan Makro Permukaan Baja API 5L grade B pendinginan *quenching* (a) Substrat API 5L (b) *Copperizing* 10 menit (c) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 5 menit (d) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 10 menit (e) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 15 menit (f) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 20 menit.



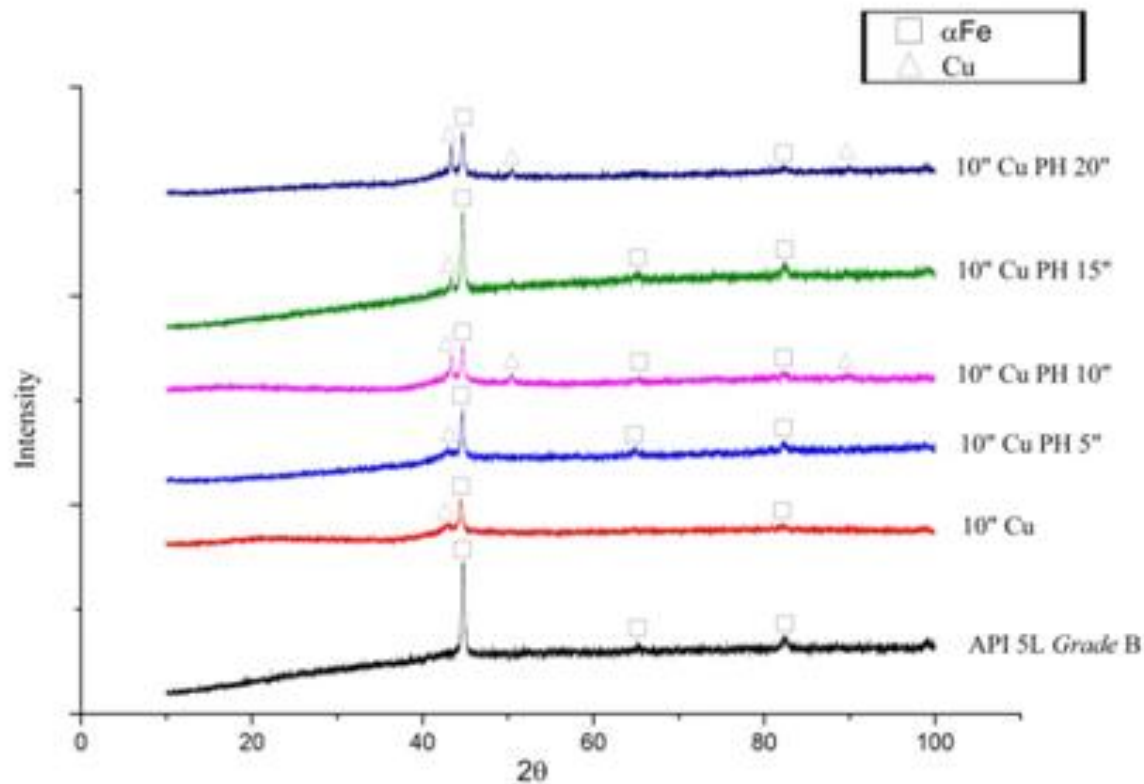
Gambar 4.6 Hasil Pengamatan Makro Penampang Melintang Baja API 5L grade B pendinginan *quenching* dengan perbesaran 16x: (a) *Copperizing* 10 menit (b) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 5 menit (c) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 10 menit (d) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 15 menit (e) *Copperizing* 10 menit *Post-Heat* 20 menit.

Pengujian XRD



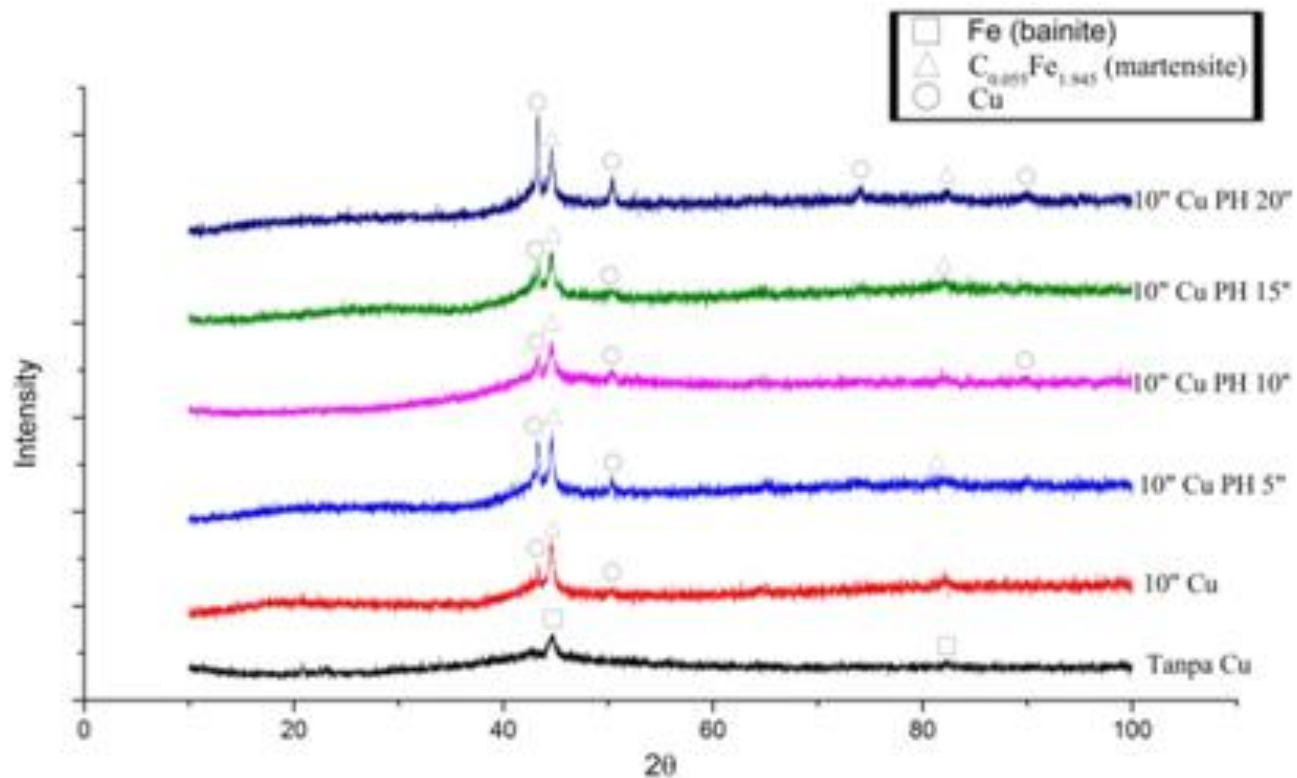
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Uji XRD Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Annealing*

Pengujian XRD



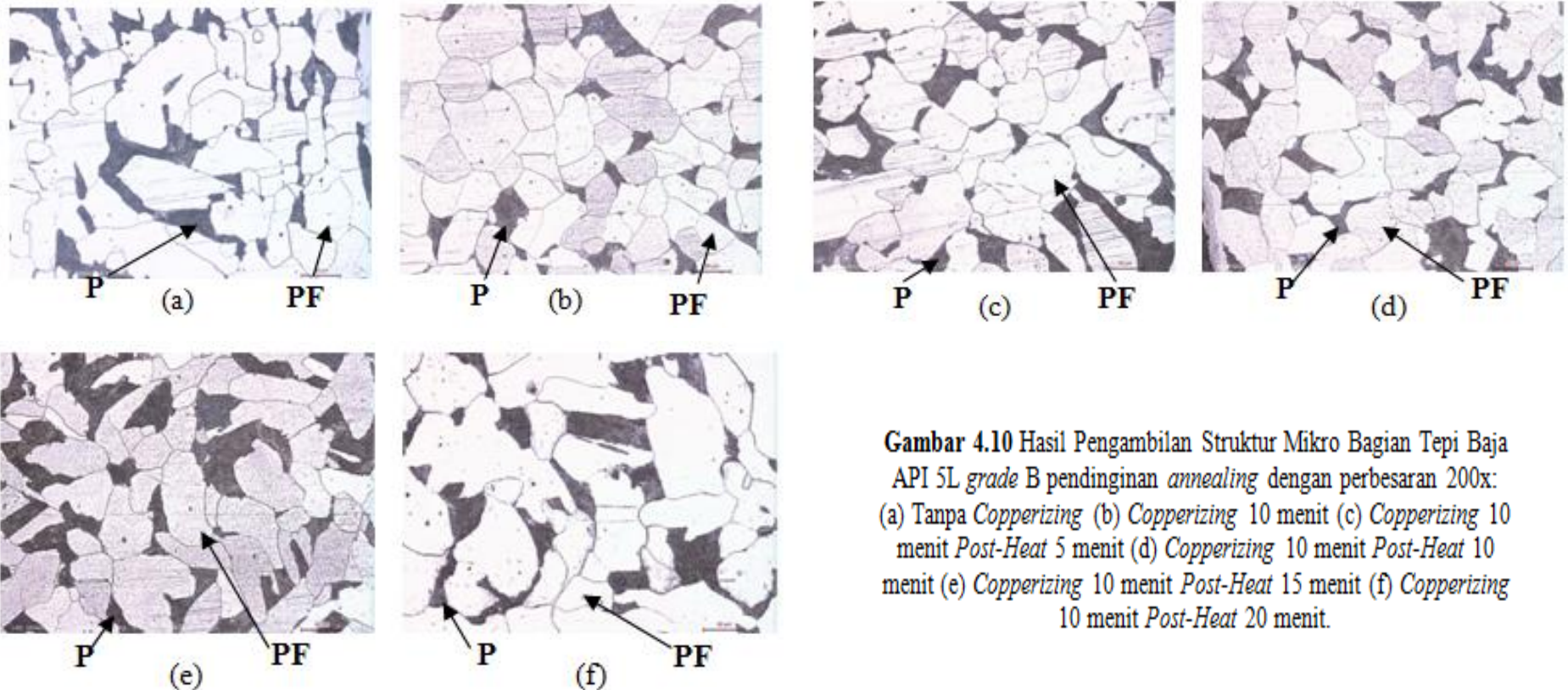
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Hasil Uji XRD Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Normalizing*

Pengujian XRD



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Hasil Uji XRD Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Quenching*

Pengujian Struktur Mikro

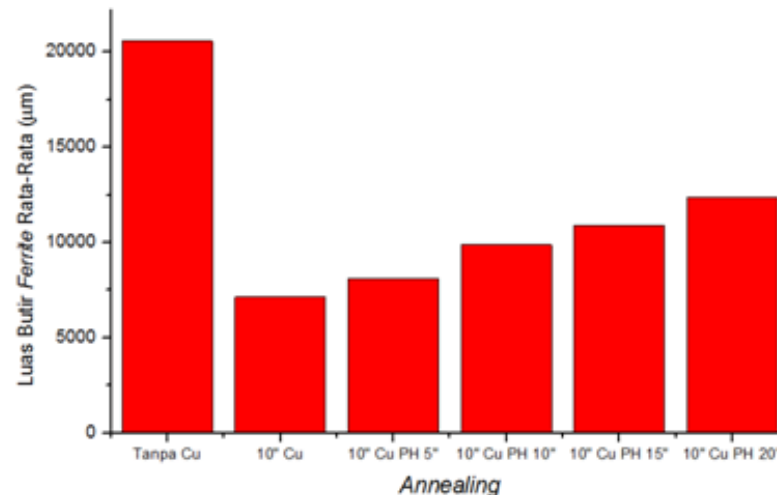


Gambar 4.10 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Baja API 5L grade B pendinginan *annealing* dengan perbesaran 200x:
(a) Tanpa Copperizing (b) Copperizing 10 menit (c) Copperizing 10 menit Post-Heat 5 menit (d) Copperizing 10 menit Post-Heat 10 menit (e) Copperizing 10 menit Post-Heat 15 menit (f) Copperizing 10 menit Post-Heat 20 menit.

Pengujian Struktur Mikro

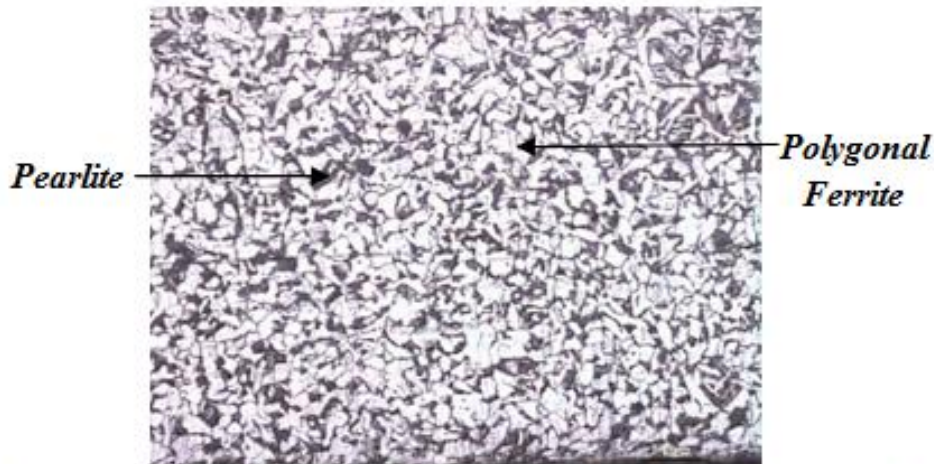
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Luas Butir *Ferrite* Rata-Rata Spesimen Baja API 5L *Grade B* Dengan Laju Pendinginan *Annealing*

Spesimen	Luas Rata-Rata Butir <i>Ferrite</i> (μm)
Tanpa Cu	20558.503
10 ^{''} Cu Tanpa PH	7150.4336
10 ^{''} Cu PH 5 ^{''}	8091.052
10 ^{''} Cu PH 10 ^{''}	9881.96
10 ^{''} Cu PH 15 ^{''}	10885.964
10 ^{''} Cu PH 20 ^{''}	12382.868

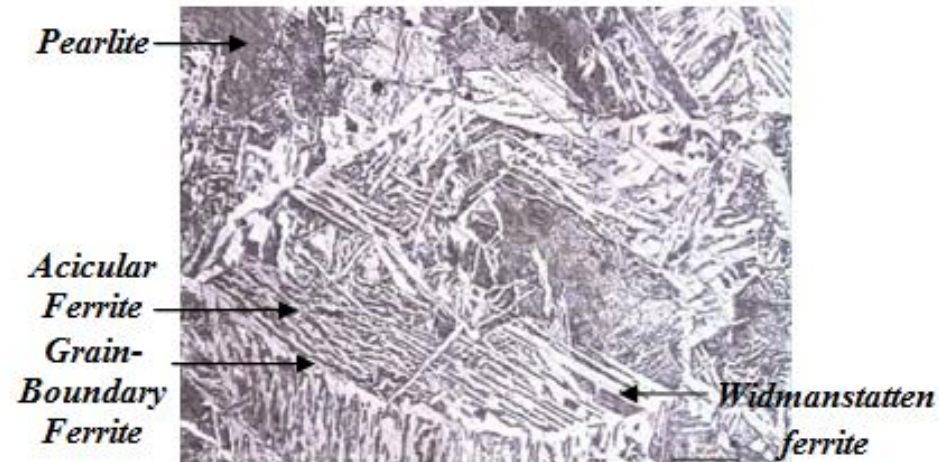


Gambar 4.11 Grafik Hasil Perhitungan Luas Rata-Rata Butir *Ferrite* Spesimen Baja API 5L *Grade B* Dengan Laju Pendinginan *Annealing*

Pengujian Struktur Mikro

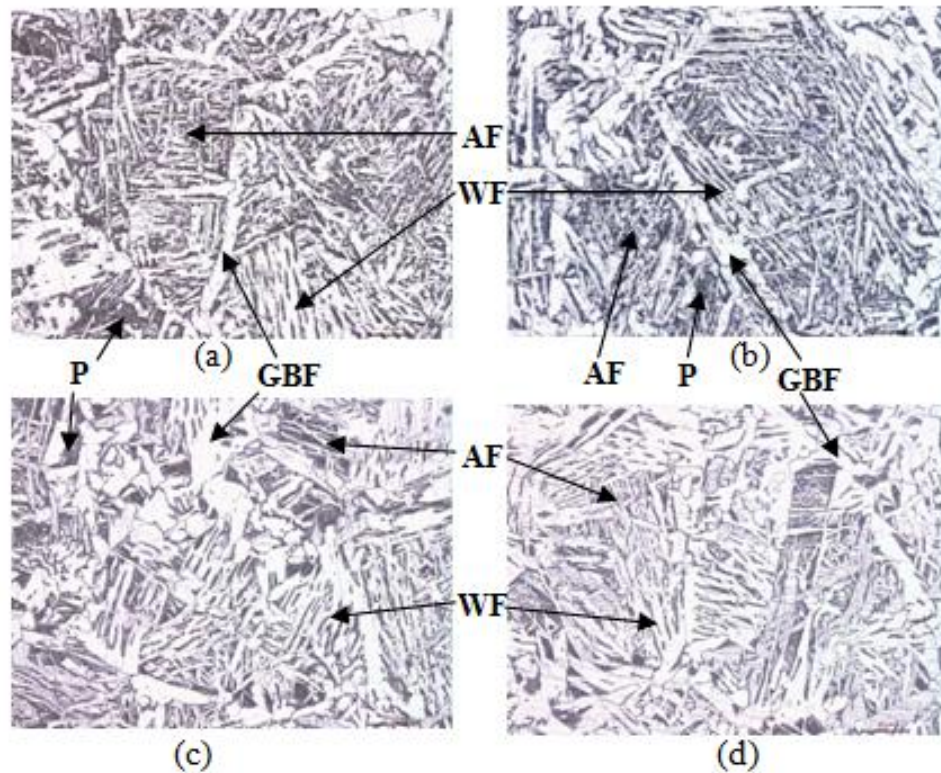


Gambar 4.12 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Baja API 5L grade B Tanpa Copperizing pendinginan normalizing dengan perbesaran 200x



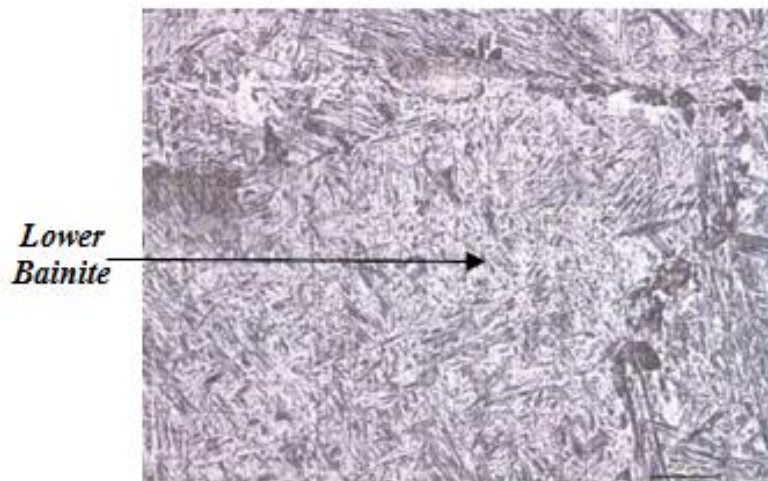
Gambar 4.13 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Baja API 5L grade B 10 menit copperizing pendinginan normalizing dengan perbesaran 200x

Pengujian Struktur Mikro

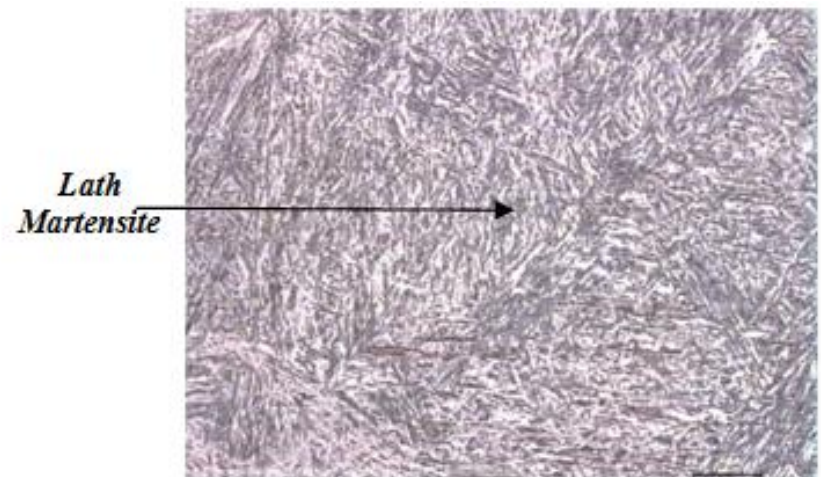


Gambar 4.14 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Baja API 5L grade B 10 menit copperizing pendinginan normalizing dengan perbesaran 200x: (a) post-heat 5" (b) post-heat 10" (c) post-heat 15" (d) post-heat 20"

Pengujian Struktur Mikro

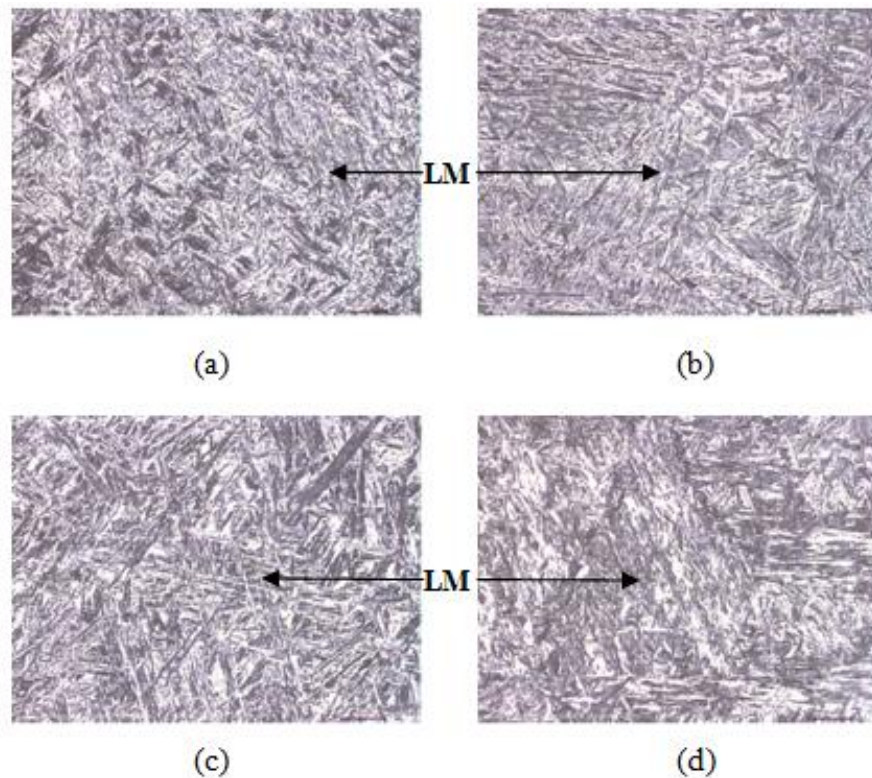


Gambar 4.15 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Ba API 5L grade B Tanpa Copperizing Pendinginan Quenching Dengan Perbesaran 500x



Gambar 4.16 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Baja API 5L grade B Copperizing Pendinginan Quenching Dengan Perbesaran 500x

Pengujian Struktur Mikro

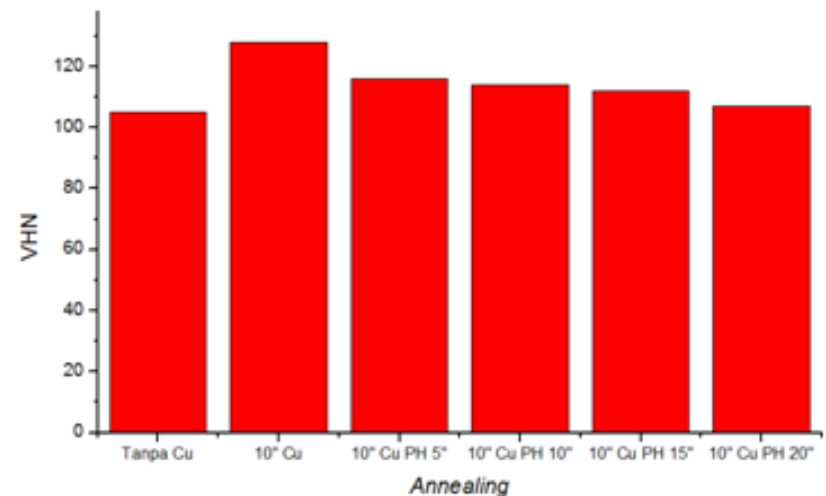


Gambar 4.17 Hasil Pengambilan Struktur Mikro Bagian Tepi Baja API 5L grade B 10 menit *copperizing* pendinginan *quenching* dengan perbesaran 500x: (a) *post-heat 5"* (b) *post-heat 10 "* (c) *post-heat 15"* (d) *post-heat 20"*

Pengujian Kekerasan *Macrovickers*

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Macrovickers Hardness* Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Annealing* Dengan Pembebanan 30 kgf

Perlakuan	VHN
Tanpa Cu	105
10 ^{''} Cu	128
10 ^{''} Cu PH 5 ^{''}	116
10 ^{''} Cu PH 10 ^{''}	114
10 ^{''} Cu PH 15 ^{''}	112
10 ^{''} Cu PH 20 ^{''}	107

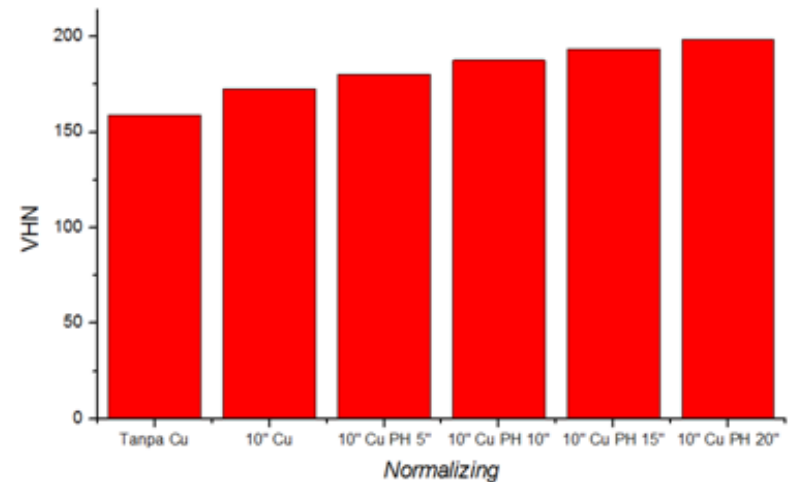


Gambar 4.18 Hasil Pengujian *Macrovickers Hardness* Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Annealing* Dengan Pembebanan 30 kgf

Pengujian Kekerasan *Macrovickers*

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Macrovickers Hardness* Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Normalizing* Dengan Pembebanan 30 kgf

Perlakuan	VHN
Tanpa Cu	159
10 ^{''} Cu	172.67
10 ^{''} Cu PH 5 ^{''}	180.33
10 ^{''} Cu PH 10 ^{''}	187.67
10 ^{''} Cu PH 15 ^{''}	193.67
10 ^{''} Cu PH 20 ^{''}	198.33

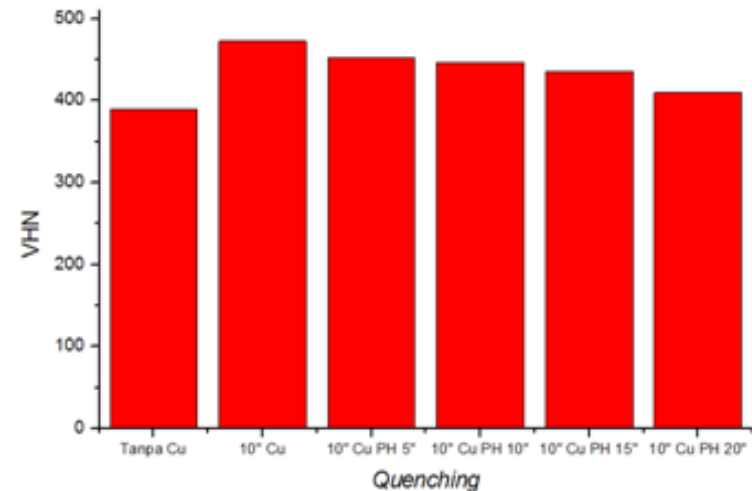


Gambar 4.19 Hasil Pengujian *Macrovickers Hardness* Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Normalizing* Dengan Pembebanan 30 kgf

Pengujian Kekerasan *Macrovickers*

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Macrovickers Hardness* Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Quenching* Dengan Pembebanan 30 kgf

Perlakuan	VHN
Tanpa Cu	389.33
10" Cu	472.67
10" Cu PH 5"	452.67
10" Cu PH 10"	446.67
10" Cu PH 15"	436
10" Cu PH 20"	409.67



Gambar 4.20 Hasil Pengujian *Macrovickers Hardness* Spesimen Baja API 5L Grade B Laju Pendinginan *Quenching* Dengan Pembebanan 30 kgf



KESIMPULAN

- Pengaruh Waktu Tahan Post-Heat

- Struktur Mikro:

- Annealing : Terjadi pertumbuhan butir *ferrite*.

- Normalizing : Terjadi peningkatan fase widmanstatten *ferrite* secara visual.

- Quenching : Terjadi peningkatan ukuran jarum *martensite* secara visual.

- Kekerasan :

- Annealing : Terjadi penurunan kekerasan baja seiring dengan pertumbuhan butir *ferrite*.

- Normalizing : Terjadi peningkatan kekerasan baja seiring dengan peningkatan fase WF secara visual.

- Quenching : Terjadi penurunan kekerasan baja seiring dengan peningkatan ukuran jarum *martensite* secara visual.

- Pengaruh Laju Pendinginan

- Struktur Mikro:

- Annealing : Muncul fase *polygonal ferrite* dan *pearlite*.

- Normalizing : Muncul fase *grain boundary ferrite*, *widmanstatten ferrite*, *acicular ferrite*, dan *pearlite*.

- Quenching : Muncul fase lath martensite.

- Kekerasan :

- Annealing : Menghasilkan kekerasan terendah karena terbentuknya fase *polygonal ferrite* pada baja.

- Normalizing : Menghasilkan kekerasan menengah karena adanya *widmanstatten ferrite* dan *acicular ferrite* pada baja.

- Quenching : Menghasilkan kekerasan tertinggi karena adanya fase lath martensite pada baja.



TERIMA KASIH